

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000045

International filing date: 14 January 2005 (14.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 002 204.6
Filing date: 15 January 2004 (15.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 14 March 2005 (14.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 002 204.6

Anmeldetag: 15. Januar 2004

Anmelder/Inhaber: EPCOS AG, 81669 München/DE

Bezeichnung: Keramikmaterial

IPC: C 04 B, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 2. März 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

Beschreibung

Keramikmaterial

Die Erfindung betrifft ein keramisches Material auf der Basis von Bleizirkonattitanat PZT. Es ist vorzugsweise für den Aufbau von piezokeramischen Vielschichtbauelementen geeignet und weist bei funktioneller Beanspruchung eine hervorragende thermische und zeitliche Stabilität der piezoelektrischen Eigenschaftsparameter auf.

Der Einsatz derartiger piezokeramischer Bauelemente als Sensoren oder Aktoren, insbesondere in der KFZ-Technik, ist an hohe Zuverlässigkeit und zeitliche Stabilität sowie eine hinreichende thermische Stabilität bei zugleich vergleichsweise hohen Auslenkungen gebunden, die sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung ergeben. Letztere verlangen die Einstellung eines bestimmten Verhältnisses Zr zu Ti in der Perowskitstruktur ABO_3 von PZT, das der sogenannten morphotropen Phasengrenze MPB entspricht. Im Zusammensetzungsbereich der MPB nehmen die piezoelektrischen Eigenschaften besonders vorteilhafte Werte an. Darüber hinaus lassen sich die funktionellen Eigenschaften der Bleizirkonattitanatkeramik durch Zulegen bestimmter Zusatzstoffe, die sich in der Perowskitstruktur fest lösen, sehr weitgehend auf den jeweiligen Anwendungsfall einstellen. Es wird im allgemeinen angestrebt, daß der für die thermische Stabilität der piezoelektrischen Eigenschaften maßgebende vergleichsweise hohe Wert der Curie-temperatur von ca. 360°C durch derartige Modifizierungen nicht allzu sehr herabgemindert wird, was dadurch gelingt, daß man die Konzentration der Zusatzkomponente klein hält.

Aus der Druckschrift WO 97/40537 ist eine PZT-Keramik bekannt, bei der zur Verbesserung der Eigenschaften der Keramik eine Dotierung am A-Platz der Perowskitstruktur vorgesehen ist. Dabei wird zur A-Platz-Dotierung ein seltenes Erdmetall ausgewählt, vorzugsweise Lanthan oder Neodym.

Aus der Druckschrift C. Schuh et al., Proc. Electroceramics V, Aveiro 1996 Vol. 1, 201 ist ferner eine Zusammensetzung $\text{Pb}_{0,97}\text{Nd}_{0,02}[(\text{Zr}_{0,3}\text{Ti}_{0,4}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0,3})\text{O}_3]$ bekannt.

In der Druckschrift DE 198 40 488 A1 ist ferner der Einbau der Verbindung $\text{Sr}(\text{K}_{0,25}\text{Nb}_{0,75})\text{O}_3$ in das Perowskitgitter von PZT beschrieben.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Keramikmaterial anzugeben, das gut für die Anwendung in Piezoaktoren geeignet ist.

Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung des keramischen Materials anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Keramikmaterial nach Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren zu dessen Herstellung nach Patentanspruch 18 und 19.

Es wird angegeben ein Keramikmaterial, das aus einem ersten Keramikmaterial mit einer Perowskitstruktur als Wirtsgitter, enthaltend Blei, Zirkon und Titan und einem zweiten Keramikmaterial mit einer Kryolithstruktur aufgebaut ist.

Es wird ferner ein Keramikmaterial angegeben, das Mischkristalle aus einem ersten Keramikmaterial und einem zweiten Keramikmaterial enthält. Das erste Keramikmaterial weist eine

Perowskitstruktur auf und enthält Blei, Zirkon sowie Titan. Das zweite Keramikmaterial weist eine Kryolithstruktur auf.

Das erste Keramikmaterial entspricht vorteilhafterweise der Zusammensetzung $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ genannt PZT. Die folgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf das erste Keramikmaterial.

Eine vorteilhafte Ausführungsform des Keramikmaterials basiert auf einer partiellen Substitution von Pb^{II} und $\text{Zr}^{\text{IV}}/\text{Ti}^{\text{IV}}$ in der $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ -Keramik durch Ionen mit vergleichbaren Ionenradien, z. B. durch A^{II} -Kationen (A^{II} : Ba, Sr, Ca) auf den A-Plätzen und B^{IV} -Kationen (B^{IV} : Sn) auf den B-Plätzen der Perowskitstruktur. Im Rahmen einer solchen Mischkristallbildung ist darüber hinaus eine große Mannigfaltigkeit von Abwandlungen durch aliovalente Substitution möglich. Diese kann in einer paarweisen Substitution mit Valenzkompensation zwischen den A- und B-Plätzen der Perowskitstruktur bestehen, beispielsweise von A^{I} -Kationen (A^{I} : K, Ag) und B^{V} -Kationen (B^{V} : Nb, Ta, Sb) und deren Kombinationen, oder es kommen A^{III} -Kationen (A^{III} : La^{III} , Se^{III} , Bi^{III}) und B^{III} -Kationen (B^{III} : Al, Co, Mn) und deren Kombinationen in Betracht. Es sind auch Mischkristalle der aufgeführten drei Versionen realisierbar.

Neben der paarweise gekoppelten Substitution mit Valenzkompensation, bei der ein hoher Substitutionsgrad erreicht werden kann, besteht bei Einhaltung enger Konzentrationsgrenzen der Zusatzkomponente die Möglichkeit einer Substitution ohne Valenzkompensation. Im diesem Fall bleiben Gitterplätze temporär während des Sinterns oder auch bleibend unbesetzt. Sinterverdichtung und Gefügebildung werden dadurch gefördert, und es ergeben sich bei Einstellung des Zr/Ti-Verhältnisses

auf die MPB besonders vorteilhafte piezoelektrische und piezomechanische Funktionseigenschaften.

Sogenannte weiche Piezokeramiken mit vergleichsweise flacherem Verlauf der ferroelektrischen Hysteresekurve im Polarisations-Feldstärke-Diagramm sind durch den Einbau höherwertiger Kationen auf den A-Plätzen, also von A^{III} anstelle von Pb^{II} , oder den Einbau höherwertiger Kationen B^V anstelle von Zr^{IV}/Ti^{IV} auf den B-Plätzen realisierbar, ohne daß Valenzkompensation wie bei der paarweise gekoppelten Substitution vorliegt. Auf Grund der mit einer solchen Dotierung verbundenen Ausbildung von Leerstellen auf den A-Plätzen ist das Kornwachstum im Sinterprozess kinetisch begünstigt und ebenso die Domänenwandbewegung bei Einwirkung eines elektrischen Feldes, was zu hohen Werten der Dielektrizitätskonstante ϵ , des elektromechanischen Kopplungsfaktors k_p und hohen Auslenkungsbeträgen bei vergleichsweise moderater Feldstärke von ca. 2 kV/mm führt, allerdings auch mit einer Verminderung der Elastizität und Erhöhung der dielektrischen Verluste verknüpft ist.

Piezokeramische Systeme dieses Typs entsprechen beispielsweise der Formel $Pb_{1-3x/2}La_xV_{Pb,x/2}(Zr_{0,53}Ti_{0,47})O_3$ (V_{Pb} = Leerstelle auf Pb^{II} -Platz) ($0,005 < x < 0,02$), wobei anstelle von La^{III} auch andere Kationen der Seltenen Erdelemente SE^{III} in Frage kommen, z. B. Nd^{III} in

$Pb_{1-3x/2}Nd_xV_{Pb,x/2}(Zr_{0,53}Ti_{0,47})O_3$ mit $x = 0,02$. Es kann gezeigt werden, daß eine solche Keramik im Vielschichtbauelement eines Aktors mit Ag/Pd-Innenelektroden nach dem Sintern an Luft infolge Einwanderung von Ag^I -Ionen in die Leerstellen die Zusammensetzung $Pb_{0,96}Nd_{0,02}Ag_{0,02}(Zr_{0,54}Ti_{0,46})O_3$ annimmt. Weitere Substitutionen durch Kationen der Seltenen Erden $Pb_{0,97}A^{III}_{0,02}V_{Pb,0,01}(Zr_{0,535}Ti_{0,465})O_3$ mit $A = La, Nd$,

Eu, Gd, Er, und auch Bi sind gleichfalls möglich. Die Variante einer Substitution von B-Plätzen ohne Valenzkompensation liegt im Fall Niob dotierter Piezokeramiken als

$\text{Pb}_{1-x/2}\text{V}_{x/2}(\text{Zr}_{1-p}\text{Ti}_p)_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ vor. Auch die komplexe Zusammensetzung einer vergleichsweise harten Piezokeramik

$\text{Pb}_{0,99}\text{V}_{0,01}\{[(\text{Zr}_x\text{Sn}_{1-x})_{1-y}\text{Ti}_y]_{0,98}\text{Nb}_{0,02}\}\text{O}_3$ lässt sich in einen solchen Zusammenhang einordnen.

Sogenannte harte Piezokeramiken mit steilerem Verlauf der ferroelektrischen Hysteresekurve im Polarisations-Feldstärke-Diagramm sind durch den Einbau von Kationen mit niedrigerer Wertigkeit auf den A-Plätzen, also von A^{I} anstelle von Pb^{II} , oder den Einbau niedrigerwertiger Kationen auf den B-Plätzen der Perowskitstruktur herstellbar, im letzteren Fall also B^{III} -Kationen wie Al^{III} , Fe^{III} , Cr^{III} oder Ga^{III} bzw. B^{II} -Kationen wie Mg^{II} , Ca^{II} , Ni^{II} , Co^{II} oder Mn^{II} anstelle von $\text{Zr}^{\text{IV}}/\text{Ti}^{\text{IV}}$. Mit einer solchen Dotierung geht bei hoher Temperatur die Ausbildung von Leerstellen im Sauerstoffteilgitter einher, wodurch insbesondere die Sinterverdichtung im thermischen Keramisierungsprozess eine signifikante Förderung erfährt. Im Abkühlungsprozess müssen die Leerstellen aber sehr weitgehend durch Sauerstoff aufgefüllt werden, da anderenfalls der Isolationswiderstand und die Alterungsstabilität negativ beeinflusst werden. Harte Piezokeramiken, wie zum Beispiel $\text{Pb}_{1-x}\text{K}_x(\text{Zr}_{0,65}\text{Ti}_{0,35})\text{O}_{3-x/2}\text{V}_{x/2}$ haben in der Regel einen größeren Elastizitätskoeffizient, kleinere Dielektrizitätskonstante ϵ , etwas kleinere elektromechanische Kopplungskoeffizienten k_p und geringere dielektrische Verluste.

Als besonders vorteilhaft für die Einstellung optimaler piezoelektrischer und piezo-mechanischer Funktionseigenschaften hat sich die Anwendung aliovalenter Substitutionen ohne Valenzkompensation durch sogenannte „weiche“ Zusatzstoffe er-

wiesen, deren Wirkung durch Beimengung „harter“ Komponenten partiell kompensiert ist.

Derartige Kombinationen schließen die gemischte Besetzung der B-Plätze durch verschiedene Kationen in der Weise ein, daß sich wiederum Valenzkompensation mit Vollbesetzung sämtlicher Gitterplätze im Perowskitgitter einstellt. Es resultiert daraus eine enorme Erweiterung stofflicher Abwandlungen für PZT-Keramiken.

Vorzugsweise wird bei der Herstellung des hier angegebenen Materials so vorgegangen, daß kristallchemisch geeignet angepasste Verbindungen, die in der vom Kryolith $\text{Na}_2(\text{Na},\text{Al})\text{F}_6$ abgeleiteten Struktur kristallisieren, Mischkristalle mit dem Perowskitgitter von PZT und ggf. auch mit Mischkristallsystemen ohne und mit Valenzkompensation ausbilden.

Eine besonders gut geeignete Verbindung mit Kryolith-Struktur stellt $\text{Sr}_6\text{Nb}_2\text{O}_{11}$ dar. Die der Struktur angepasste Formulierung $\text{Sr}_4(\text{Sr}_2\text{Nb}_2)\text{O}_{11}$ läßt den Zusammenhang zur Perowskitstruktur erkennen. 4 Sr^{II} -Kationen besetzen wie in der Perowskitstruktur die A-Plätze mit der Koordinationszahl 12, weitere 2 Sr^{II} sowie 2 Nb^{V} -Kationen alternierend die B-Plätze mit der Koordinationszahl 6, die überall dort auf 5 vermindert ist, wo ein Oxidion fehlt, denn 1/12 der Sauerstoffplätze ist unbesetzt. Bei fester Lösung dieser Verbindung im Perowskitgitter von PZT resultiert daraus eine Förderung des Kornwachstums und der Schwindung im Sinterprozess.

Es wurde gefunden, daß $\text{Sr}_6\text{Nb}_2\text{O}_{11}$ eine Phasenbreite aufweist, die sich bei hoher Temperatur recht weit in Richtung eines höheren Gehalts an Nb_2O_5 ausdehnt und daher durch die allge-

meine Formel $\text{Sr}_{6-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3}\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$ bzw., an die Kryolith-Struktur angepasst, durch

$\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$ mit $0 < x < 1$ beschrieben werden kann. Durch Anwendung eines über die Zusammensetzung $\text{Sr}_6\text{Nb}_2\text{O}_{11}$ hinaus gehenden Nb_2O_5 - Gehalts lässt sich daher die Leerstellenkonzentration einstellen und auf diese Weise ein für piezokeramische Anwendungen sehr vorteilhafter Werkstoff herstellen, beispielsweise im System

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c$ in den Grenzen

$0,5 < a < 0,6$; $0 < b < 0,5$; $0 < c < 0,05$; $0 < x < 1$, wobei V eine Leerstelle im Sauerstoff-Teilgitter bedeutet.

Anstelle von $\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$ lassen sich auch Komponenten mit Kryolith-Struktur verwenden, die anstelle der Sr^{II} -Kationen auf den A-Plätzen Ba^{II} -Ionen und anstelle der Sr^{II} -Kationen auf den B-Plätzen Ca^{II} -Ionen enthalten. Es resultieren daraus die folgenden Formulierungen für Zusatzkomponenten: $\text{Ba}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$ oder

$\text{Sr}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$ bzw.

$\text{Ba}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}$. Dadurch wird die Variationsbreite möglicher Abwandlungen von PZT-Keramik noch einmal wesentlich erweitert.

Eine weitere Mannigfaltigkeit ist dadurch gegeben, daß neben diesen Modifizierungen durch Verbindungen mit Kryolith-Struktur als weitere Zusatzkomponente nicht nur KNbO_3 in Betracht zu ziehen ist, sondern ebenso eine der bereits aufgeführten Perowskitkomponenten $\text{Pb}(\text{M}^{\text{II}}_{1/3}\text{M}^{\text{V}}_{2/3})\text{O}_3$ (M^{II} : Mg, Zn, Co, Ni, Mn, Cu und M^{V} : Nb, Ta, Sb) oder $\text{Pb}(\text{M}^{\text{II}}_{1/2}\text{M}^{\text{VI}}_{1/2})\text{O}_3$ (M^{II} : Mg, Zn, Co, Ni, Mn, Cu und M^{VI} : W) oder $\text{Pb}(\text{M}^{\text{III}}_{1/2}\text{M}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3$ (M^{III} : Fe, Mn, Cr, Ga und M^{V} : Nb, Ta, Sb) bzw. $\text{Pb}(\text{M}^{\text{III}}_{2/3}\text{M}^{\text{VI}}_{1/3})\text{O}_3$ (M^{III} : Fe, Mn, Cr, Ga und M^{VI} : W) und gegebenenfalls auch $\text{Pb}(\text{M}^{\text{I}}_{1/4}\text{M}^{\text{V}}_{3/4})\text{O}_3$ (M^{I} : Li, mit M^{V} :

$\text{Pb}(\text{M}^{\text{I}}_{1/4}\text{M}^{\text{V}}_{3/4})\text{O}_3$ (M^{I} : Li, mit M^{V} : Nb, Ta, Sb) und deren Mischungen zur Anwendung gelangen können.

Diese sind als Zusätze mit fester Lösung im PZT-Perowskitgitter realisierbar. Da es sich stets um eine Aufnahme dieser mit der Perowskitstruktur kompatiblen Zusätze durch das PZT-Wirtsgitter handelt, sind Mischungen der aufgeführten fünf Versionen gleichfalls in Betracht zu ziehen.

Der große Variationsbereich der bisher beschriebenen Lösungen wird bei gemischter B-Platz-Besetzung durch Rezepturen ohne Valenzkompensation komplettiert, die einer Dotierung durch sogenannte „weiche“ Zusatzstoffe mit partieller Kompensation durch Beimengung „harter“ Komponenten entsprechen, woraus Leerstellen im Perowskitgitter resultieren, die sich besonders vorteilhaft sowohl auf die Gefügebildung im Sinterprozess als auf die piezoelektrischen und piezomechanischen Funktionseigenschaften auswirken.

Die Erfindung wird an folgenden Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figur näher erläutert.

Die Figur zeigt einen Piezoaktor in einem schematischen Längsschnitt.

Die Figur zeigt einen Ausschnitt aus einem Piezoaktor 1, der unter Beteiligung des hier beschriebenen Keramikmaterials gefertigt worden ist. Es sind gezeigt ein Stapel von übereinanderliegenden piezoelektrischen Keramikschichten 2, mit dazwischenliegenden Elektrodenschichten 3. Der Piezoaktor 1 weist ferner seitlich am Keramikkörper Außenelektroden 4 auf. Die Herstellung des in der Figur gezeigten Piezoaktors 1 erfolgt durch Bilden keramischer Grünfolien, welche aus einem der

hier beschriebenen Keramikmaterialien gefertigt werden. Eine Vielzahl dieser Grünfolien, beispielsweise 10 oder sogar 100 werden übereinandergestapelt. Zwischen den keramischen Grünfolien werden Elektrodenschichten 3 angeordnet. Die Elektrodenschichten 3 können beispielsweise aus Silber und Palladium bestehen. Die Elektrodenschichten 3 können aber genauso gut auch aus Kupfer bestehen. Die Elektrodenschichten 3 können beispielsweise durch Siebdruck auf die einzelnen keramischen Grünfolien aufgebracht werden. Die übereinandergestapelten keramischen Grünfolien werden miteinander verpresst und anschließend gemeinsam entbindert und gesintert. Daraus resultiert ein monolithischer Keramikkörper mit übereinandergestapelten, piezoelektrischen keramischen Schichten 2. Die inneren Elektrodenschichten 3 weisen kammartig ineinandergreifende Strukturen auf, wobei jede zweite der Elektrodenschichten 3 mit ein und derselben Außenelektrode 4 kontaktiert ist.

Zwischen den Außenelektroden 4 wird die zur elektrischen Charakterisierung des Piezoaktors 1 notwendige elektrische Spannung angelegt.

Zur Herstellung des hier beschriebenen Keramikmaterials wird eine aus Pb_3O_4 oder PbCO_3 , TiO_2 , ZrO_2 bzw. einem durch Mischfällung hergestellten Precursor $(\text{Zr,Ti})\text{O}_2$ sowie KNbO_3 , SrCO_3 und Nb_2O_5 und gegebenenfalls weiteren Dotanden, wie z.B. Seltenen Erden, bestehende Rohstoffmischung entsprechend einer der in den Tabellen 1 bis 8 beispielhaft aufgeführten Zusammensetzungen in Mol-% gemischt, oder es gelangt auch eine Mischung mit dem jeweiligen Anteil an vorgefertigter Kryolithphase zur Anwendung.

Tabelle 1 bis 4: Ansätze einer durch Zusätze von Verbindungen mit Kryolith-Struktur modifizierten PZT-Keramik

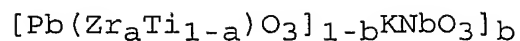


Tabelle 1:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c * 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95
a = 0,529	b = 0,014	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,014	c = 0,0035	x = 0,95
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,007	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,007	x = 0,95
a = 0,529	b = 0,014	c = 0,007	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,014	c = 0,007	x = 0,95

Tabelle 2:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Ba}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c * 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95

Tabelle 3:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Ba}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c * 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95

Tabelle 4:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c \cdot 0,02 \text{ PbO}$			
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,0035$	$x = 0,5$
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,0035$	$x = 0,95$

Tabelle 5 bis 8: Ansätze einer durch Zusätze von Verbindungen mit Kryolith-Struktur modifizierten PZT-Keramik

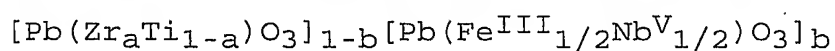


Tabelle 5:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{Pb}(\text{Fe}^{\text{III}}_{1/2}\text{Nb}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c \cdot 0,02 \text{ PbO}$			
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,0035$	$x = 0,5$
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,0035$	$x = 0,95$
$a = 0,529$	$b = 0,014$	$c = 0,0035$	$x = 0,5$
$a = 0,529$	$b = 0,014$	$c = 0,0035$	$x = 0,95$
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,007$	$x = 0,5$
$a = 0,529$	$b = 0,007$	$c = 0,007$	$x = 0,95$
$a = 0,529$	$b = 0,014$	$c = 0,007$	$x = 0,5$
$a = 0,529$	$b = 0,014$	$c = 0,007$	$x = 0,95$

Tabelle 6:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{Pb}(\text{Fe}^{\text{III}}_{1/2}\text{Nb}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3]_b[\text{Ba}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c \cdot 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95

Tabelle 7:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{Pb}(\text{Fe}^{\text{III}}_{1/2}\text{Nb}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3]_b[\text{Ba}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c \cdot 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95

Tabelle 8:

$[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{Pb}(\text{Fe}^{\text{III}}_{1/2}\text{Nb}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c \cdot 0,02 \text{ PbO}$			
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,5
a = 0,529	b = 0,007	c = 0,0035	x = 0,95

Derartige Rohstoffmischungen werden in bezug auf das Zr zu Ti Verhältnis auf die MPB eingestellt und je nach Zweckmäßigkeit mit einem geringen Überschuss an PbO (ca. 2 %) als Sinterhilfsmittel versehen, zur Gleichverteilung der Komponenten einer Mahlstufe in wässriger Suspension unterzogen und nach dem Filtrieren und Trocknen bei 900 bis 950 °C kalziniert. Dabei bildet sich die piezokeramische Perowskit-Mischkristallphase im wesentlichen bereits aus.

Mittels einer anschließenden Feinmahlung lässt sich die Sinteraktivität an die Sintertemperatur von ca. 1120°C für Ag/Pd-Innenelektroden(75/25) bzw. 1000 °C für Cu-Innenelekt-

roden anpassen. Um bereits bei 1000°C unterhalb der Schmelztemperatur von Kupfer Sinterverdichtung zu erreichen, ist eine Feinmahlung bis auf eine mittlere Korngröße $< 0,4 \mu\text{m}$ erforderlich. Die Sinteraktivität des Pulvers erweist sich dann als ausreichend, um eine Verdichtung von $> 96\%$ der theoretischen Dichte bei zugleich hinreichendem Kornwachstum und ausreichender mechanischer Festigkeit im Keramikgefüge zu gewährleisten.

Das fein gemahlene Pulver wird unter Verwendung eines Dispergators zu einem wässrigen Schlicker mit ca. 70 m-% Feststoffgehalt, das entspricht etwa 24 Vol.-%, suspendiert und entweder durch Versprühen in ein pressfähiges Granulat überführt oder zu Keramik-Grünfolien verarbeitet. Dabei wird der für eine optimale Dispergierung gerade notwendige Dispergatoranteil in einer Versuchsreihe gesondert ermittelt, was am Erreichen eines Viskositätsminimums erkannt werden kann. Man fügt zu den dispergierten Feststoffpulversuspensionen 6 - 8 m-% eines Binders zur Einstellung der für den Folienziehprozess erforderlichen Verarbeitungseigenschaften hinzu: Binder auf Polyacrylat Basis oder PVA-Basis, z. B. Polyvinylbutyral PVB, für Piezo-Vielschichtbauelemente, z. B. Aktoren, mit Ag/Pd-Innenelektroden, oder man verwendet die thermohydrolytisch günstiger abbaubaren Polyurethane im Fall eines Aufbaus mit Cu-Innenelektroden. Nach dem Homogenisieren der in dieser Weise auf eine optimale Viskosität und Oberflächenspannung eingestellten Suspension in einer Dispermat-Mühle erhält man einen für den Folienziehprozess geeigneten Schlicker.

Scheibenförmige Preßlinge, hergestellt aus dem Granulat, oder quadratische Mehrlagenplättchen „MLP“, gewonnen durch Übereinanderstapeln und Laminieren aus den 40 bis 50 μm dicken Grünfolien, lassen sich standardmäßig entbindern, ebenso Pie-

zo-Vielschichtbauelemente, z. B. Piezoaktoren, mit bis zu 360 Ag/Pd-Innenelektroden. Im Fall von Cu-Innenelektroden ist sowohl bei der Entbinderung wie bei der Sinterung die Einhaltung eines Sauerstoffpartialdruckes unterhalb der Oxidation von Kupfer geboten, was durch Einstellung einer kontrollierten H_2O/H_2 -Atmosphäre gelingt, deren Zusammensetzung der Ofenkurve in den beiden thermischen Prozessen folgt.

Derartig entbinderte PZT-Keramikproben gestatten die Sinterverdichtung zu einer Keramik mit einer für die piezoelektrischen und piezomechanischen Eigenschaften vorteilhaften Gefügestruktur. Nach dem Kontaktieren durch Sputtern von Au-Elektroden werden die dielektrischen und speziell die piezoelektrischen Eigenschaften an den erhaltenen scheibenförmigen Proben mit den Abmessungen von ca. $10 \times 10 \text{ mm}^2$ und 0,7 bzw. 2 mm Dicke gemessen. Bei den Vielschichtbauelementen, z.B. Proben von Aktoren, erfolgt das Kontaktieren durch Aufbringen und Einbrennen einer bondfähigen Ag- bzw. Cu-Terminierung.

Der polare Zustand der ferroelektrischen Keramik mit einer Curietemperatur von je nach Zusammensetzung 250 bis 380°C wird durch Polung mit ca. 2 kV/mm eingestellt. Einige der an derartigen Proben erhaltenen piezoelektrischen Eigenschaften sind in Tabelle 9 für die durch Kryolith abgewandelten Piezokeramiken beispielhaft zusammengestellt. Zum Vergleich sind Werte einer durch Nd dotierten weichen Keramik in Tabelle 10 mit angegeben. Neben der Dielektrizitätskonstante ϵ wurde entsprechend der für den piezoelektrischen Effekt geltenden Beziehung $S_3 = d_{33} \times E_3$ die Dehnung S unter der Wirkung der elektrischen Feldstärke E zwecks Ermittlung der Ladungskonstante d gemessen (der Index 3 bezeichnet die Richtung der durch Polung eingestellten polaren Achse und der angelegten

Feldstärke). Weiterhin sind die spezifische Energie und der Verlustfaktor angegeben.

Tabelle 9: Einige im Klein- und im Großsignal-Messregime ermittelte Eigenschaften für scheibenförmige Proben MLP (11 x 11 mm²) und Aktoren mit Ag/Pd-Innenelektroden

(n = 350, dielektrische Dicke d = 80 µm, 6,8 x 6,8 mm²) auf der Basis der Keramik

$\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]_{1-b-c}[\text{KNbO}_3]_b[\text{Sr}_4(\text{Sr}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]_c$
* d PbO

		Dielektri- zitäts- konstante ϵ	d_{33} in m/V	$(\epsilon \epsilon_0/d_{33}^2)$ in J/m ³	Verlustfaktor bzw. Verlust η
Zusammensetzungsparameter					
a = 0,52 b = 0,0051 c = 0,0038 x = 1 d = 0,012					
MLP	E = 2 V/mm	1552	-	-	$\tan \delta = 0,0165$
	E=2 kV/mm	2684	$598 \cdot 10^{-12}$	$6,65 \cdot 10^{10}$	$\eta = 45 \%$
Zusammensetzungsparameter					
a = 0,52 b = 0,0102 c = 0,0075 x = 1 d = 0,012					
MLP	E = 2 V/mm	1494	-	-	$\tan \delta = 0,02$
	E=2 kV/mm	2834	$497 \cdot 10^{-12}$	$10,2 \cdot 10^{10}$	$\eta = 52 \%$
Zusammensetzungsparameter					
a = 0,53 b = 0,0069 c = 0,00346 x = 0,53 d = 0,012					
MLP	E = 2 V/mm	1198	-	-	$\tan \delta = 0,027$
	E=2 kV/mm	2896	$639 \cdot 10^{-12}$	$6,48 \cdot 10^{10}$	$\eta = 64 \%$
Ak- tor	E = 2 V/mm	1565	-	-	$\tan \delta = 0,024$
	E = 2 kV/mm	2928	$624 \cdot 10^{-12}$	$6,66 \cdot 10^{10}$	$\eta = 46,9 \%$

Tabelle 10: Einige im Klein- und im Großsignal-Meßregime ermittelte Eigenschaften für scheibenförmige Proben MLP (11 x 11 x 0,7 mm³) und Aktoren mit Ag/Pd-Innenelektroden

(n = 350, dielektrische Dicke d = 80 µm, 6,8 x 6,8 mm²) auf der Basis der Keramik $\text{Pb}_{0,97}\text{Nd}_{0,02}\text{V}_{0,01}(\text{Zr}_{0,54}\text{Ti}_{0,46})\text{O}_3$ für

Proben MLP und auf der Basis von

$\text{Pb}_{0,96}\text{Nd}_{0,02}\text{Ag}_{0,02}(\text{Zr}_{0,54}\text{Ti}_{0,46})\text{O}_3$ für Aktoren mit Ag/Pd-Innenelektroden

		Dielektri- zitäts- konstante ϵ	d_{33} in m/V	$(\epsilon \epsilon_0 / d_{33}^2)$ in J/m ³	Verlustfaktor bzw. Verlust η
MLP	E = 2 V/mm				
	E=2 kV/mm	2428	$661 \cdot 10^{-12}$	$4,92 \cdot 10^{10}$	$\eta = 45 \%$
Ak- tor	E = 2 V/mm	1708			$\tan \delta = 0,016$
	E = 2 kV/mm	3534	$780 \cdot 10^{-12}$	$5,14 \cdot 10^{10}$	$\eta = 45 \%$

Bezugszeichenliste

- 1 Piezoaktor
- 2 keramische Schichten
- 3 Elektrodenschichten
- 4 Außenelektroden

Patentansprüche

1. Keramikmaterial, das aus

- einem ersten Keramikmaterial mit einer Perowskitstruktur als Wirtsgitter, enthaltend Blei, Zirkon und Titan und
- einem zweiten Keramikmaterial mit einer Kryolithstruktur aufgebaut ist.

2. Keramikmaterial nach Anspruch 1,

bei dem das erste und das zweite Material eine Mischkristallphase bilden.

3. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

bei dem das zweite Keramikmaterial die allgemeine Formel $[A_4(B_{2-2x/3}Nb_{2+2x/3})O_{11+x}V_{1-x}]$ aufweist, wobei A für Barium oder Strontium und B für Strontium oder Kalzium und V für eine Sauerstoffleerstelle steht, und wobei für den Parameter x gilt: $0 \leq x \leq 1$.

4. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

bei dem das zweite Keramikmaterial die Summenformel $[Sr_4(Sr_{2-2x/3}Nb_{2+2x/3})O_{11+x}V_{1-x}]$ aufweist, wobei V für eine Sauerstoffleerstelle steht und wobei für den Parameter x gilt: $0 \leq x \leq 1$.

5. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

bei dem das zweite Keramikmaterial die Summenformel $[Ba_4(Sr_{2-2x/3}Nb_{2+2x/3})O_{11+x}V_{1-x}]$ aufweist, wobei V für eine Sauerstoffleerstelle steht und wobei für den Parameter x gilt: $0 \leq x \leq 1$.

6. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

bei dem das zweite Keramikmaterial die Summenformel

$[\text{Ba}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]$ aufweist, wobei V für eine Sauerstoffleerstelle steht und wobei für den Parameter x gilt: $0 \leq x \leq 1$.

7. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem das zweite Keramikmaterial die Summenformel $[\text{Sr}_4(\text{Ca}_{2-2x/3}\text{Nb}_{2+2x/3})\text{O}_{11+x}\text{V}_{1-x}]$ aufweist, wobei V für eine Sauerstoffleerstelle steht und wobei für den Parameter x gilt: $0 \leq x \leq 1$.

8. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das erste Keramikmaterial eine Zusammensetzung der Summenformel $[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]$ enthält, wobei für a gilt: $0,5 \leq a \leq 0,6$.

9. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das erste Keramikmaterial aus einer Mischkristallphase besteht, das aus einer PZT-Keramik und einer Zusatzkomponente vom Perowskitgitter-Typ zusammengesetzt ist.

10. Keramikmaterial nach Anspruch 9, bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel KNbO_3 aufweist.

11. Keramikmaterial nach Anspruch 9, bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel $\text{Pb}(\text{M}^{\text{II}}_{1/3}\text{M}^{\text{V}}_{2/3})\text{O}_3$ aufweist und wobei M^{II} für Mg, Zn, Co, Ni, Mn oder Cu und wobei M^{V} für Nb, Ta oder Sb steht.

12. Keramikmaterial nach Anspruch 9, bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel $\text{Pb}(\text{M}^{\text{II}}_{1/2}\text{M}^{\text{VI}}_{1/2})\text{O}_3$ aufweist und wobei M^{II} für Mg, Zn, Co, Ni, Mn oder Cu und wobei M^{VI} für W steht.

13. Keramikmaterial nach Anspruch 9,
bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel
 $\text{Pb}(\text{M}^{\text{III}}_{1/2}\text{M}^{\text{V}}_{1/2})\text{O}_3$ aufweist und wobei M^{III} für Fe, Mn, Cr o-
der Ga und wobei M^{V} für Nb, Ta oder Sb steht.

14. Keramikmaterial nach Anspruch 9,
bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel
 $\text{Pb}(\text{M}^{\text{III}}_{2/3}\text{M}^{\text{VI}}_{1/3})\text{O}_3$ aufweist und wobei M^{III} für Fe, Mn, Cr
oder Ga und wobei M^{VI} für W steht.

15. Keramikmaterial nach Anspruch 9,
bei dem die Zusatzkomponente die Summenformel
 $\text{Pb}(\text{Li}^{\text{I}}_{1/4}\text{M}^{\text{V}}_{3/4})\text{O}_3$ aufweist und wobei M^{V} für Nb, Ta oder Sb
steht.

16. Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
wobei das Keramikmaterial die Summenformel

$\text{A}_{1-b-c}\text{B}_b\text{C}_c$ aufweist, wobei gilt:

$0 < b \leq 0,5$; $0 < c \leq 0,05$;

und wobei

- A für eine Zusammensetzung $[\text{Pb}(\text{Zr}_a\text{Ti}_{1-a})\text{O}_3]$ steht und wobei
gilt

$0,5 \leq a \leq 0,6$,

- B für eine Zusatzkomponente vom Perowskitgitter-Typ steht
und

- C für ein Keramikmaterial vom Kryolithgitter-Typ steht.

17. Keramikmaterial nach Anspruch 16,
das zusätzlich noch einen PbO-Überschuß von bis zu 3 mol-%
enthält.

18. Piezoaktor

- aufweisend einen monolithischen Stapel von übereinanderliegenden Keramikschichten (2) und dazwischenliegenden Elektrodenschichten (3), wobei wenigstens eine Keramikschicht (2) ein Keramikmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 17 enthält.

19. Verfahren zur Herstellung eines Keramikmaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

wobei Vorläufermaterialien eines Keramikmaterials mit einer Kryolithstruktur mit Vorläufermaterialien einer PZT-Keramik gemischt werden.

20. Verfahren zur Herstellung eines Keramikmaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

wobei eine vorgefertigte Kryolith-Phase mit Vorläufermaterialien einer PZT-Keramik gemischt wird.

Zusammenfassung

Keramikmaterial

Die Erfindung betrifft ein Keramikmaterial, enthaltend eine Mischung aus einem ersten Keramikmaterial mit einer Perowskitstruktur, enthaltend Blei, Zirkon und Titan und einem zweiten Keramikmaterial mit einer Kryolithstruktur. Das Keramikmaterial ist besonders vorteilhaft für Piezoaktoren verwendbar.

Figur

